



**Universidade de  
Aveiro**  
2009

Departamento de Economia, Gestão e  
Engenharia Industrial

**IRENEU PEREIRA  
DE MIRANDA E  
SILVA**

**SISTEMAS DE AGITAÇÃO PARA DIGESTORES  
ANAERÓBIOS**



**IRENEU PEREIRA DE  
MIRANDA E SILVA**

**SISTEMAS DE AGITAÇÃO PARA DIGESTORES  
ANAERÓBIOS**

Relatório de Projecto apresentado à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial, realizada sob a orientação científica do Doutor Joaquim José Borges Gouveia, Professor Catedrático do Departamento de Economia, Gestão e Engenharia Industrial da Universidade de Aveiro

Dedico este trabalho à Judite, pelo incansável apoio. À minha filha Ana Isabel e ao meu filho João Pedro, que nasceu no dia 25 de Junho, e por último, mas não em último lugar, aos meus Pais.

## **o júri**

presidente

Prof. Doutor Henrique Manuel Morais Diz  
Professor Catedrático da Universidade de Aveiro

Prof. Doutor Cláudio Domingos Martins Monteiro  
Professor Auxiliar da Faculdade de Engenharia de Universidade do Porto

Prof. Doutor Joaquim José Borges Gouveia  
Professor Catedrático da Universidade de Aveiro

## **agradecimentos**

Desejo agradecer a todos os que directa ou indirectamente participaram neste trabalho.

Ao meu orientador, Doutor Borges Gouveia, pelo incentivo e pela amizade que demonstrou.

Aos colegas da Efacec Ambiente cujo apoio muitas vezes aliviaram os momentos mais difíceis.

À minha família e amigos todo o incentivo e compreensão demonstrados.

À Judite, mãe dos meus filhos, por todo o apoio, amor e compreensão.

Aos meus Filhos.

**palavras-chave**

Biogás; Cogeração; Digestão anaeróbia; Digestores; Agitação de digestores

**resumo**

A Digestão anaeróbia envolve o processo da agitação de digestores que permite, por um lado, aumentar a probabilidade do contacto entre o substrato e os microrganismos que o degradam e por outro, facilita a libertação do biogás produzido, produto de determinadas reacções que ocorrem durante o complexo processo da digestão (fase metanogénica). Pretende-se com este trabalho encontrar um sistema de agitação de digestores, que por um lado cumpra os requisitos de qualidade funcionais inerentes à sua função, e que por outro lado seja o mais económico possível. Partiu-se de um caso real com digestores pré definidos, procuraram-se no mercado várias alternativas, analisaram-se as vantagens e desvantagens de cada uma delas e por fim decidiu-se qual delas seria a mais adequada para o caso em estudo.

**keywords**

Biogas; cogeneration; Anaerobic digestion; Digester; mixing of digesters

**abstract**

The anaerobic digestion involves the process digesters mixing that increases the probability of the contact between the substrate and the microorganisms and improves the release of biogas.

The main goal of this work is to find a system of digesters mixing to satisfy the functional quality requirements and to be economical. This study is based on real case with defined digesters, comparing with some alternatives available in the market. The advantages and disadvantages of each one of them were analyzed in order to choose the more adequate system.

## Índice

1 – Introdução.....	12
2 – Contributos dos vários componentes de um digestor para o seu desempenho.....	16
2.1 Nota Histórica da digestão anaeróbia e dos digestores.....	16
2.2 - Princípio da Digestão Anaeróbia.....	18
2.3 – Digestores Anaeróbios .....	20
2.3.1 – Forma .....	20
2.3.2 - Alimentação de Digestores .....	22
2.3.3 - Tempo de Retenção.....	23
2.3.4 - Extracção de Lamas.....	23
2.3.5 - Cobertura dos Digestores .....	23
3 – Estudo do Caso de Agitação de Digestores .....	27
3.1 - Agitação por recirculação de biogás.....	27
3.2 - Agitação Mecânica por Bombas de Recirculação de Lamas .....	29
3.2.1 – Montagem do Sistema .....	31
3.3 - Agitação Mecânica por Agitadores .....	31
3.3.1 – Montagem dos agitadores.....	35
3.4 - Agitação Mecânica por “DRAFT TUBE COM 2 TUBOS Interno” .....	37
3.4.1 – Montagem do sistema .....	38
3.5 - Agitação Mecânica por Agitador Linear .....	39
3.5.1 – Montagem dos agitadores.....	40
4 – Conclusão e Investigação Futura.....	48
5- Referências .....	50



**Lista de Tabelas**

Tabela I – Alimentação de Biogás aos Digestores .....	27
Tabela II – Produção Teórica de Biogás.....	27
Tabela III – Análise dos custos associados a cada solução estudada .....	42
Tabela IV – Consumo Energético de cada uma das soluções Estudadas .....	44
Tabela V – Vantagens/Desvantagens de cada um dos sistemas analisados .....	45

## Lista de Figuras

Fig 1 - Resumo da sequência de processos na digestão anaeróbia .....	19
Fig 2 – Digestores anaeróbios em forma de Ovo.....	21
Fig. 3 – Construção de um digestor em forma de ovo, .....	22
Fig 4 – Exemplo de cobertura de um digestor .....	24
Fig 5 – Gasómetro - ETAR Norte - SIMLIS – Leiria .....	25
Fig 6 – Motogerador - ETAR Norte - SIMLIS - Leiria .....	25
Fig 7 – Agitação de um Digestor .....	26
Fig 8 – Cânulas de injeção de Biogás .....	28
Fig 9 – Anel de injeção de biogás na cobertura .....	29
Fig 10 – Agitador SCABA 27-3 DE.....	32
Fig 11 – Rompe crostas (hélice superior) .....	32
Fig 12 – Labirinto Hidráulico.....	33
Fig 13 – Conjunto Motor – Redutor .....	34
Fig 14 – Configuração do hélice.....	35
Fig 15 – Porta de Homem para entrada no Digestor .....	36
Fig 16 – Montagem do Agitador SCABA.....	36
Fig 17 - Agitação por draft tube (Tubos dentro do Digestor).....	37
Fig 18 - Agitação por draft tube (Tubos fora do Digestor).....	38
Fig 19 – Agitador Linear .....	40
Fig 20 – Montagem do Agitador Linear EIMCO .....	41
Fig 21 – Agitador instalado na EDAR de Lorete del Mar .....	47

## **Abreviaturas**

CO<sub>2</sub> – Dióxido de Carbono

CH<sub>4</sub> - Metano

H<sub>2</sub>S – Ácido Sulfídrico

ETAR- Estação de Tratamento de Águas Residuais

EDAR - Estación Depuradora de Águas Residuales

HP0 – Ano Zero do Projecto

HP1 – Ano Horizonte do Projecto

EB – Época Baixa

EA – Época Alta

## 1 – Introdução

A Produção crescente de resíduos e a necessidade que as sociedades têm de os tratar convenientemente é um desafio que se coloca na ordem do dia a todas as sociedades a nível mundial. Neste contexto e no que diz respeito a resíduos orgânicos, se forem adoptadas medidas/métodos adequados, pode obter-se, para além da redução do passivo ambiental, a produção de energia. Se, pelo contrário, estes resíduos não sofrerem qualquer tipo de tratamento, pela inerência da sua composição, como resíduo orgânico que são, ir-se-ão degradar de forma não controlada, originando e libertando gases para a atmosfera, muitos deles potenciadores do efeito de estufa, nomeadamente o CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub>, contribuindo assim para as alterações climáticas que já se vêm verificando e que se traduzem no aumento da temperatura média, aumento do nível das águas do mar, degelo, entre outros.

Em Portugal, até aos nossos dias, o destino usual para este tipo de resíduos tem sido o seu encaminhamento directo para aterro sanitário. Esta situação origina o mesmo tipo de problemas referidos para a ausência de tratamento, com a agravante de termos, num mesmo local, grandes quantidades de matéria orgânica em decomposição, originando a formação de lixiviados, com elevada carga orgânica, havendo a possibilidade real destes se infiltrarem no solo, degradando a qualidade das águas superficiais e subterrâneas.

Com a finalidade de se reverter a tendência da deposição de resíduos orgânicos em aterros, foi criada a Directiva Comunitária 1999/31/CE, de 26 de Abril. Esta Directiva estabelece metas para a deposição de resíduos biodegradáveis em aterro e foi transposta para o direito Português através do *DL 152/2002 de 23 de Maio*.

O tratamento de Águas Residuais Domésticas, produz, por si só, quantidades consideráveis de matéria orgânica sólida (Lamas) que, de uma maneira geral, têm tido também, como destino preferencial o aterro sanitário. Ora a aplicação da Directiva Comunitária obriga à implementação de soluções alternativas. No caso das lamas o tratamento que se lhe impõe é a digestão anaeróbia, estabilizando-as química e biologicamente, em digestores anaeróbios. Desta estabilização resulta a produção de biogás (CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, CH<sub>4</sub>, entres outros).

O Biogás produzido é captado e armazenado, através de sistemas próprios, e pode ser utilizado como fonte de energia (térmica e/ou eléctrica – Cogeração).

Portugal tem um grande potencial de crescimento na produção de biogás em ETARs e aterros de resíduos sólidos urbanos. Este é um potencial a aproveitar pois a longo prazo produz riqueza, aproveita desperdícios, diminui a poluição gasosa e integra as crescentes preocupações ambientais

A produção controlada do biogás é conseguida através dos digestores anaeróbios, também conhecidos por biodigestores. Será que as características construtivas destes biodigestores têm influência no bom funcionamento do mesmo? E será que os vários modelos disponíveis, para agitação dos mesmos, têm impactos económicos semelhantes ou haverá possibilidade de optimização destes?

## RELEVÂNCIA E MODERNIDADE DO TEMA

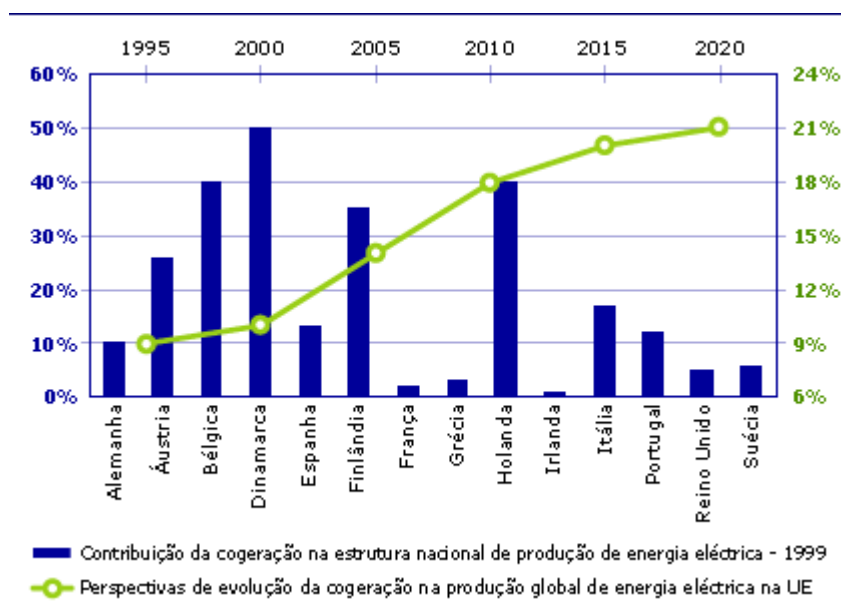
A produção de biogás está hoje na ordem do dia, devido por um lado à poluição resultante digestão anaeróbia descontrolada e por outro à possibilidade dos aproveitamentos energéticos resultantes de biodigestão controlada, acompanhando o aumento das exigências ambientais ao nível da deposição dos resíduos e do tratamento dos seus efluentes (biogás e lixiviados).

O facto da deposição de resíduos orgânicos gerar espontaneamente, por digestão anaeróbia, gás com elevado teor de CH<sub>4</sub> (35-60%) e com poder calorífico inferior a rondar os 5 kWh/Nm<sup>3</sup>, permite equacionar soluções de valorização energética para o mesmo de forma a minimizar custos operacionais e gerar proveitos suplementares.

A valorização energética é conseguida através da instalação de módulos de cogeração.

Designa-se por cogeração a produção simultânea de energia térmica e energia mecânica a partir de um único combustível, sendo esta última habitualmente convertida em energia eléctrica através de um alternador.

Os **benefícios energéticos e ambientais** da cogeração são de tal forma evidentes que a união europeia determinou, através da Directiva 2004/8/CE de 11 de Fevereiro, como meta a atingir em 2010 os 18% de energia eléctrica produzida por esta via. Em Portugal, no ano 2000 este valor situava-se nos 12% pelo que, considerando uma taxa de crescimento do consumo da ordem dos 6% ao ano, verifica-se que há ainda um longo caminho a percorrer.



Fonte: <http://www.renovaveis.tecnopt.com/cogeracao/>

## ENQUADRAMENTO E ÂMBITO DO TRABALHO

Este trabalho insere-se no âmbito da revisão de um projecto de aproveitamento de biogás através da digestão anaeróbia da matéria orgânica. Para o efeito foram dimensionados 2 digestores com capacidade de 3 300 m<sup>3</sup> cada.

Pretende-se com este trabalho perceber se o modelo de digestor projectado é o mais adequado quanto à forma, materiais construtivos e sistemas associados (sistema de aquecimento; agitação, etc), face ao recomendado na bibliografia.

Analisou-se pormenorizadamente o caso dos sistemas de agitação disponíveis no mercado e sua aplicabilidade aos digestores do nosso projecto.

## MOTIVAÇÃO E OBJECTIVOS

Este trabalho tem como principal objectivo a análise das melhores soluções construtivas de um digestor anaeróbio e verificar se o digestor projectado para a digestão de lamas de uma estação de tratamento de águas residuais, objecto da nossa revisão, contempla as melhores soluções preconizadas na bibliografia.

Esta análise prende-se com o facto da quantidade de biogás produzido estar, aparentemente, relacionada com a configuração de um digestor. Optimizando o digestor estaremos a digerir melhor a matéria orgânica, reduzindo a contaminação atmosférica, produzindo mais biogás e aumentando a potencialidade do aproveitando energético do mesmo.

No que diz respeito à agitação do digestor, se conseguirmos uma boa agitação com um custo energético menor, estaremos a diminuir o consumo de energia, reduzindo todo o passivo ambiental e económico associado ao processo de agitação em particular e à produção de biogás em geral, tornando estes sistemas mais apelativos.

## **METODOLOGIA**

Pesquisa bibliográfica relacionada com digestores e de sistemas de agitação.

Análise comparativa dos custos associados a cada uma das soluções alternativas para a agitação do digestores e, por fim, escolha daquela considerada mais adequada para o caso em estudo.

## **ÂMBITO DO RELATÓRIO**

O relatório está dividido em capítulos da seguinte forma:

No **Capítulo 2** é efectuada uma descrição sumária do contributo dos vários componentes de um digestor para o bom funcionamento do mesmo.

No **Capítulo 3** é aprofundado o estudo do caso da agitação dos digestores, na vertente técnico-económica, permitindo seleccionar o tipo de agitação a implementar no projecto objecto do nosso estudo.

No **Capítulo 4** são apresentadas as principais conclusões obtidas, bem como sugestões para um trabalho futuro.

## **2 – Contributos dos vários componentes de um digestor para o seu desempenho**

### **2.1 Nota Histórica da digestão anaeróbia e dos digestores**

Em 1776 Alessandro Volta, físico Italiano, descobriu o “ar combustível”, que se formava em sedimentos existentes no fundo dos lagos e dos rios. Oitenta anos mais tarde Reiset detectou a formação de metano (CH<sub>4</sub>) em estrumeiras e propôs o estudo desse tipo de resíduos por forma a encontrar explicações para o processo de decomposição anaeróbia (na ausência de oxigénio).

Bechamp, em 1868, concluiu que o gás metano é formado pela acção de microrganismos.

Em 1875, Popoff, investigou a formação de metano a partir de vários substratos.

Em 1890, Van Sensus verificou que a decomposição anaeróbia era feita por vários microrganismos e Omeliansui isolou os organismos que produzem hidrogénio, ácido acético e butírico, a partir da celulose. Deduziu também que o metano seria produzido a partir da redução do dióxido de carbono, pelo hidrogénio, de acordo com a seguinte equação química:  $4\text{H}_2 + \text{CO}_2 \longrightarrow \text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$

Em 1910, Sohngen verificou que a fermentação de materiais orgânicos produzem compostos reduzidos, como o hidrogénio, o ácido acético e o gás carbónico. Demonstrou também que ocorre a redução de CO<sub>2</sub> para a formação de metano e assumiu que o ácido acético é descarbonizado para fermentação de metano. Essa hipótese, hoje considerada correcta, permaneceu em controvérsia por várias décadas.

Em 1914, Thum e Reichle concluíram que o processo de digestão anaeróbia se dava em duas fases: a ácida e a metanogénica. Em 1916, Imhoff, denominou estas duas fases do processo como sendo a digestão ácida e a digestão metanogénica.



Em 1948, Buswell e Sollo, através da utilização do  $^{14}\text{C}$  provaram que o metano vindo do acetato não ocorre através de redução de  $\text{CO}_2$ .

Em 1956 Jerris verificou que 70% do metano produzido vinha do acetato.

Em 1967 Briant publicou que existem 2 espécies de bactérias produtoras de metano, uma pela via do acetato e outra pela do hidrogénio.

Retirado de: [http://www.comitepcj.sp.gov.br/download/Curso-Trat-Esgoto\\_Capitulo-5.pdf](http://www.comitepcj.sp.gov.br/download/Curso-Trat-Esgoto_Capitulo-5.pdf)

## OS BIODIGESTORES NO MUNDO

Ao que parece e apesar de já em 1776, Alessandro Volta ter descoberto o “Ar combustível”, “foi somente em 1857, em Bombaim, Índia, que se construiu a primeira instalação operacional destinada a produzir gás combustível. Nessa mesma época, investigadores como Fisher e Schrader, na Alemanha e Grayon, em França, entre outros, estabeleceram as bases teóricas e experimentais da biodigestão anaeróbia. Posteriormente, em 1890, Donald Cameron projetou uma fossa séptica para a cidade de Exeter, Inglaterra, sendo o gás produzido utilizado para a iluminação pública”. Retirado de: *Nogueira, 1986*

Seguiram-se outras experiencias motivadas principalmente pelo entusiasmo inicial que este processo atingiu.

“Apesar disso este combustível não conseguiu substituir os tradicionais (fósseis) e só nos anos 40, devido às graves carências energéticas provocadas pelo “Advento da 2ª Guerra Mundial, a biodigestão e consequente a produção de biogás foi bastante difundida entre os países europeus, usando-se o biogás em substituição dos derivados de petróleo, quer através da queima directa, na cozinha e no aquecimento das casas, como para a alimentação de motores de combustão interna. Terminado o conflito, caiu substancialmente o uso desta tecnologia, com excepção da Índia, China e África do Sul, onde continuaram o seu desenvolvimento em propriedades de pequeno porte.” Retirado de: *Gaspar, 2003*.

Inegavelmente, a pesquisa e o desenvolvimento de biodigestores desenvolveu-se muito na Índia, onde, em 1939, o Instituto Indiano de Pesquisa Agrícola, em Kanpur, criou a primeira fábrica de gás através da decomposição de estrume. Segundo *Nogueira, 1986*, o sucesso obtido animou os indianos a continuarem as investigações, formando o Gobar Gás Institute (1950), que resultaram na grande difusão da metodologia de biodigestores como forma de tratar os esgotos provenientes da criação de animais, obter biogás e ainda a utilização do produto resultante da biodigestão como fertilizante. Foi esse trabalho pioneiro, realizado na região de Ajitmal (Norte da Índia), que permitiu a construção de quase meio milhão de unidades de biodigestão no interior daquele país.

A utilização do biogás como fonte de energia motivou a China a adoptar a tecnologia a partir de 1958, onde, até 1972, já tinham sido instalados 7,2 milhões de biodigestores na região do Rio Amarelo (Gaspar, 2003).

Para os chineses, a implantação de biodigestores transformou-se numa questão vital. Um país continental, com excesso de população, a China procurou, durante os anos de 1950 e 1960, no auge da Guerra-fria, uma alternativa de descentralização energética. No caso de uma guerra que poderia significar a destruição quase total da civilização chinesa, o ataque às centrais energéticas representaria o fim de toda actividade económica. Isto porque a energia deixaria de estar disponível nos grandes centros, mas nos pequenos centros, as pequenas unidades de biodigestão conseguiriam passar despercebidas ao poder inimigo. A descentralização, portanto, implicava criar unidades suficientes nas pequenas vilas e regiões mais longínquas, *Barrera citado por Gaspar, 2003*.

Na Europa somente a partir da crise energética dos anos 70 é que a produção de biogás voltou a despertar interesse. Até essa altura o biogás era encarado simplesmente como um subproduto da decomposição anaeróbia dos resíduos urbanos, resíduos animais e de lamas provenientes de ETAR's. No entanto a diminuição do crescimento económico mundial e a acentuada subida do preço dos combustíveis convencionais associado à espectável escassez deste, têm encorajado o investimento na procura de soluções alternativas de produção de energia, economicamente atractivas e ambientalmente equilibradas.

Aproximadamente 90% do metano ( $\text{CH}_4$ ) emitido para a atmosfera resulta da decomposição de matéria orgânica e os 10% restantes resultam do processamento de combustíveis fósseis (petroquímico) (Alves, 2000). O Aproveitamento do potencial energético do biogás apresenta-se assim como a solução que integra um ganho ambiental e a redução de custos, uma vez que reduz o potencial tóxico das emissões ao mesmo tempo que produz energia.

## **2.2 - Princípio da Digestão Anaeróbia**

A digestão anaeróbia é o método mais adequado para o tratamento de resíduos de instalações pecuárias, de indústrias agropecuárias, de indústrias alimentares, de ETAR's e de resíduos orgânicos em sistemas de gestão de resíduos (*Digestão anaeróbia, dds Norte*)

É um processo Bioquímico multietapas que origina a estabilização de vários tipos de material orgânico. A digestão ocorre em 3 etapas básicas de acordo com *Zehnder (1978)*, e *Andrews (1969)*. Na primeira etapa (hidrólise), enzimas extra celulares (enzimas que operam fora das células) quebram complexos orgânicos sólidos como a celulose, proteínas e lípidos, ácidos gordos, álcoois,

$\text{CO}_2$ , e amônia. Na segunda etapa, microrganismos, muitas vezes referenciados como bactérias acetogênicas ou formadoras de ácido, convertem os produtos da primeira etapa em ácido acético, ácido propiônico, hidrogênio,  $\text{CO}_2$ , e outras pequenas moléculas. Na 3ª Etapa intervêm 2 grupos de bactérias formadoras de metano, denominadas de metanogênicas. Um grupo converte hidrogênio e dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) em metano ( $\text{CH}_4$ ). O outro converte acetato em metano ( $\text{CH}_4$ ) e bicarbonato (solução de dióxido de carbono). Estes dois grupos de bactérias são anaeróbios (vivem na ausência de oxigênio), pelo que a sua proliferação e manutenção requer digestores hermeticamente fechados de forma a impedir a entrada de oxigênio. As três etapas são ilustradas na figura 1.

As bactérias formadoras de metano são muito sensíveis a factores ambientais (temperatura, pH, toxinas, etc) e reproduzem-se muito lentamente. Basicamente, são destruídas com muita facilidade e por outro lado é muito difícil mantê-las vivas e fazê-las crescer e multiplicar. A configuração dos digestores e os sistemas de operação, são feitos e pensados de forma a satisfazer as necessidades destas frágeis bactérias.

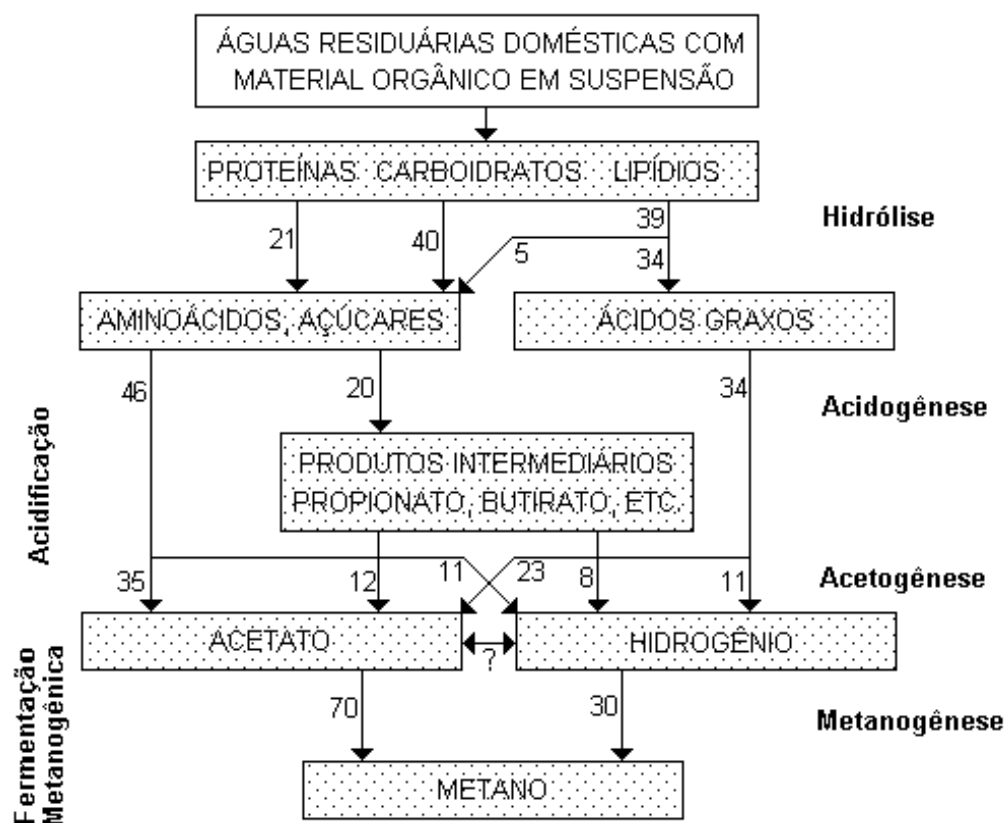


Fig 1 - Resumo da sequência de processos na digestão anaeróbia de macro moléculas complexas  
**Fonte: van Haandel e Lettinga, 1994**

## 2.3 – Digestores Anaeróbios

Um digestor anaeróbio é o local onde se dá a solubilização e redução de substâncias orgânicas complexas por microrganismos, na ausência de oxigénio. Os produtos da digestão anaeróbia são o biogás (mistura de metano, dióxido de carbono, e outros gases em pequenas quantidades) e biosólidos estabilizados. Assim, no digestor a fracção volátil das lamas espessadas é parcialmente convertida em biogás.

A quantidade e qualidade do biogás produzido poderá ser influenciado pela: forma; alimentação; tempo de retenção; tipo de extracção, cobertura e agitação dos digestores.

### 2.3.1 – Forma

Um digestor poderá assumir diversas formas, contudo a mais amplamente difundida e implementada é a do digestor em forma de ovo e esta forma tem vindo a ganhar popularidade nos últimos tempos. Estes digestores encontram-se ilustrados na figura 2.

Este tipo de digestor tem o topo e a base em cone, o que lhe dá a aparência de um ovo (daí a designação). Pode ser construído em betão ou em aço.

As vantagens deste tipo de digestor, face a qualquer outra, são facilmente perceptíveis através da observação da sua forma e que passamos a descrever:

- Redução da acumulação e deposição de areia no fundo, devido à pequena área da circunferência inferior.
- Redução dos problemas causados pela formação de espumas, escumas e crostas no topo do digestor devido também à pequena área da circunferência superior deste.
- Maior eficiência na mistura das lamas devido à inexistência de esquinas e, por conseguinte, zonas mortas.
- Possibilidade de instalação de um agitador e /ou sistema de remoção de escumas e espumas no “pescoço” do digestor.

O projecto objecto da nossa revisão prevê a instalação de digestores em forma de ovo, tal como recomenda a bibliografia. Esta é uma boa opção, quer em termos de desempenho, quer em termos económicos, uma vez que para a mesma capacidade, um digestor convencional (de topo plano) pode ter um menor custo associado à sua construção comparado com um digestor em forma de ovo, contudo o custo associado à instalação de sistemas de remoção da areia, instalação de equipamentos específicos para limpeza das zonas mortas e o volume acrescido dos digestores

convencionais (para um mesmo volume de lamas a digerir), tornam os custos dos digestores em forma de ovo mais competitivos (*Operation of municipal wastewater treatment plants , MOP 11, 6TH edition, 2007*).

A construção de um digestor encontra-se exemplificada na figura 3.



*Fig 2 – Digestores anaeróbios em forma de Ovo*



Fig 3 – Construção de um digestor em forma de ovo, **ETAR Norte - SIMLIS - Leiria**

### 2.3.2 - Alimentação de Digestores

A palavra-chave para uma boa digestão é a uniformidade. Rápidas mudanças na alimentação, no volume ou concentração dos sólidos, na temperatura, no material tóxico ou nos rácios de entrada e saída de lamas causam alterações significativas na performance do processo de digestão. O ideal será manter-se uma alimentação contínua 24 horas por dia, inviabilizando-se assim a utilização de digestores em “batch” (Metcalf e Eddy 2003)..

Muitas vezes este tipo de alimentação não é viável, optando-se por alimentação em ciclos de 5 a 10 minutos por hora (Metcalf e Eddy 2003).

As lamas cruas devem ser misturadas com as lamas em recirculação e se possíveis devem sofrer um pré-aquecimento, evitando-se assim alterações bruscas, quer no tipo de lamas, quer na temperatura (Metcalf e Eddy 2003).

No nosso projecto, a alimentação das lamas mistas espessadas aos digestores anaeróbios será feita por 2 (+1) bombas de parafuso excêntrico, estando previsto que o período de funcionamento médio seja de 20 horas por dia, 7 dias por semana. As bombas de serviço possuirão um sistema de detecção de marcha a seco e estarão associadas a variadores de frequência, que permitirão facilmente regular o caudal de lamas espessadas a alimentar aos digestores. A solução adoptada vai de encontro à recomendação bibliográfica (Metcalf e Eddy 2003).

### **2.3.3 - Tempo de Retenção**

Para digestores com uma boa agitação, o tempo de retenção hidráulica é normalmente de 15 a 20 dias, verifica-se contudo que alguns digestores têm um bom desempenho com apenas 10 dias de retenção, que é o tempo mínimo para a reprodução e reposição das bactérias produtoras de metano que saem juntamente com as lamas digeridas.

Baixos tempos de retenção reduzem também a capacidade de amortecimento dos sistemas na neutralização dos ácidos voláteis e originam o processamento de lamas muito diluídas (*Metcalf e Eddy, 2003*).

Para o nosso projecto, o tempo de retenção hidráulico mínimo previsto para o processo foi de 10 dias, contudo tendo em vista a possibilidade da eventual ocorrência de factores desfavoráveis ao processo de digestão, tais como, a variabilidade da qualidade das lamas mistas em termos de carga orgânica degradável e a presença de compostos inibidores, optou-se por um tempo de retenção de cerca de 20 dias, estando portanto de acordo com a bibliografia (*Metcalf e Eddy 2003*).

### **2.3.4 - Extracção de Lamas**

As lamas devem ser extraídas pelo fundo do digestor uma vez que os sólidos completamente digeridos contêm poucos materiais voláteis e por conseguinte tendem a ser mais pesados, ocupando a parte mais baixa do digestor. Para além disso a extracção de lamas pelo fundo reduz a acumulação de areias nessa zona (*Operation of municipal wastewater treatment plants , MOP 11, 6TH edition, 2007*).

No nosso projecto a extracção de lamas digeridas será efectuada através de uma caixa de saída no topo destes órgãos ligada directamente ao fundo dos mesmos, escoando graviticamente até ao tanque de armazenamento de lamas digeridas. O nível no interior dos digestores será fixado pela manobra de uma válvula telescópica instalada nas caixas de saída, estando portanto de acordo com a Bibliografia (*Operation of municipal wastewater treatment plants , MOP 11, 6TH edition, 2007*).

### **2.3.5 - Cobertura dos Digestores**

A cobertura dos digestores separa o biogás do ambiente aeróbio circundante evitando a sua fuga para a atmosfera. Reduz e evita o cheiro resultante da digestão e o risco de explosão. Um exemplo

de cobertura de um digestor pode ver-se na figura 4. O Biogás produzido é recolhido e armazenado em gasómetros, conforme se ilustra na figura 5 que, após tratamento, para reduzir o teor de  $H_2S$ , estará disponível como recurso energético, servindo de combustível aos motogeradores ilustrados na figura 6. A cobertura evita também a perda de calor do digestor, garantindo-se a homogeneidade calorífica dentro do mesmo (*Operation of municipal wastewater treatment plants*, MOP 11, 6TH edition, 2007).

O Nosso projecto prevê cobertura em betão, hermeticamente fechado, conforme referência bibliográfica, impedindo a entrada de ar para o interior do digestor e a saída de biogás para a atmosfera (*Operation of municipal wastewater treatment plants*, MOP 11, 6TH edition, 2007).



*Fig 4 – Exemplo de cobertura de um digestor*





*Fig 5 – Gasómetro - ETAR Norte - SIMLIS – Leiria*



*Fig 6 – Motogerador - ETAR Norte - SIMLIS - Leiria*

### 2.3.6 - Agitação de Digestores

A mistura das lamas no interior dos digestores é, também ela, um dos aspectos fundamentais para assegurar uma boa digestão das mesmas. Para que o processo da digestão decorra normalmente é necessário que as condições de operação, no seio do digestor, sejam as mais homogêneas possíveis, a fim de evitar a ocorrência de estratificação das lamas e consequentemente um funcionamento desigual ao longo do volume disponível do órgão. A agitação de um digestor representa-se esquematicamente na figura 7.

De acordo com *Sawyer and Grumbling (1960)* e *Meynell (1976)* a agitação do substrato no digestor ajuda a distribuir uniformemente os microrganismos e a temperatura, bem como a libertação do biogás entretanto produzido. A agitação poderá ser promovida por vários métodos, sendo os mais usuais, a agitação mecânica por agitadores, por recirculação de lamas ou por recirculação de biogás.

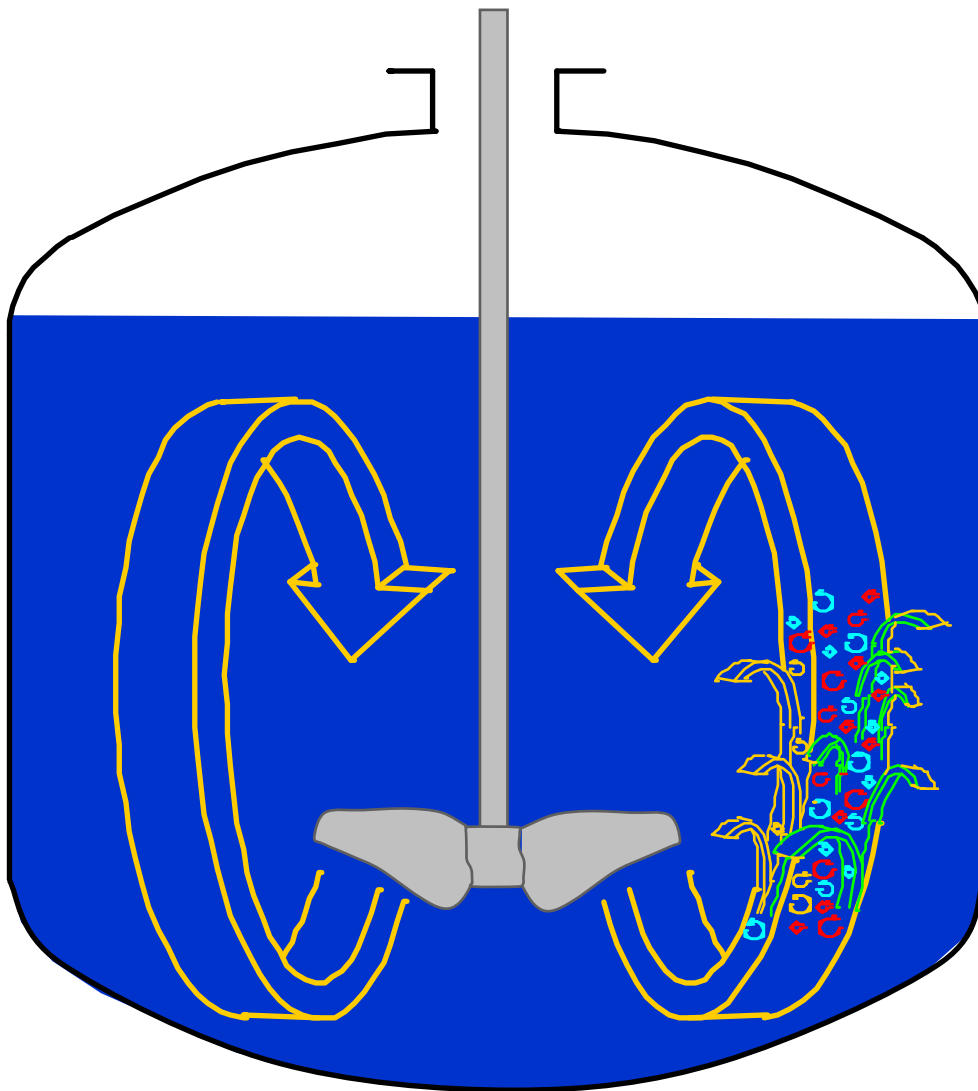


Fig 7 – Agitação de um Digestor

### 3 – Estudo do Caso de Agitação de Digestores

Foi desenvolvido um projecto de aproveitamento de biogás através da digestão anaeróbia da matéria orgânica. Para o efeito foram dimensionados 2 digestores com capacidade de 3.300 m<sup>3</sup> cada.

A solução inicial para a agitação destes digestores era através da recirculação de lamas com grupos electrobombas de eixo horizontal. Como esta solução apresenta custos elevados associados ao consumo energético, levou a que fossem analisadas várias alternativas existentes no mercado de forma a encontrarmos a melhor relação qualidade/preço.

Para o efeito foram analisados os seguintes sistemas:

- Agitação por recirculação de biogás (por compressores de biogás)
- Agitação por bombas de recirculação (por grupos electrobomba – Solução prevista inicialmente)
- Agitação por agitadores convencionais
- Agitação por Draft Tube
- Agitação por Agitadores lineares

Se a agitação dos digestores for a adequada, é expectável que, para as quantidades previstas de alimentação de lamas aos digestores, expressas na tabela I, estes dois digestores produzam as quantidades de biogás previstas na tabela II:

**Tabela I – Alimentação de Biogás aos Digestores**

<b>Parâmetros de dimensionamento</b>	<b>HP 0 EB</b>	<b>HP 0 EA</b>	<b>HP 1 EB</b>	<b>HP 1 EA</b>
Caudal de lamas mistas (m <sup>3</sup> /d)	255.0	253.3	305.7	336.5

**Tabela II – Produção Teórica de Biogás**

<b>Condições de funcionamento</b>	<b>HP 0 EB</b>	<b>HP 0 EA</b>	<b>HP 1 EB</b>	<b>HP 1 EA</b>
Produção teórica de biogás (m <sup>3</sup> /d)	5 510.6	5 461.8	6 459.3	6 780.7
Produção teórica de biogás (m <sup>3</sup> /h)	229.6	227.6	269.1	282.5

Esta análise ao sistema de agitação de digestores insere-se na revisão do projecto para a totalidade de uma Estação de Tratamento das Águas Residuais (ETAR) com capacidade nominal de 7 800 m<sup>3</sup>/h e tem por objectivo a elaboração do projecto de concepção, a construção, bem como o fornecimento, montagem e arranque dos equipamentos electromecânicos que a integram.

#### 3.1 - Agitação por recirculação de biogás

A agitação por recirculação de biogás é feita com a ajuda de compressores que injectam, sob condições controladas de pressão/depressão, o biogás no fundo do digestor.

O biogás utilizado para a agitação é parte do biogás produzido no próprio digestor. Uma percentagem de biogás é recolhida, através de tubagens próprias e independentes, e obrigada a



passar por compressores, que lhe imprimem a pressão requerida para possibilitar a injeção e agitação da totalidade do volume de lamas existente no digestor.

A injeção no interior do digestor é efectuada através de cânulas (figura 8), uniformemente distribuídas ao longo de toda a superfície superior do mesmo e alimentadas por uma tubagem em anel montada na cobertura, figura 9.

Esta alternativa não foi analisada em pormenor, uma vez que cliente excluiu esta hipótese de agitação por, à partida, se saber que há soluções mais eficientes e também por acarretar vários riscos aquando da sua exploração, nomeadamente risco de explosão.

Nota: No manuseamento de gases combustíveis/explosivos é necessário ter em consideração a Directiva Atex. Esta Directiva obriga a que todos os equipamentos que se encontrem instalados em zonas consideradas de atmosfera explosiva tenham que ser de construção antideflagrante, o que faz aumentar o valor de aquisição dos mesmos.

A implementação de agitação de digestores através de compressores de biogás, aumenta consideravelmente as áreas a considerar como zonas com atmosferas explosivas ou potencialmente explosivas, obrigando à aquisição de um grande número de equipamentos com classificação Atex (por exemplo: luminárias, interruptores, cabos eléctricos, etc) , que com outro tipo de solução não seriam necessários.



*Fig 8 – Cânulas de injeção de Biogás*



*Fig 9 – Anel de injeção de biogás na cobertura*

Esta alternativa não foi analisada em termos de custos, uma vez que foi excluída pelo nosso Cliente.

### **3.2 - Agitação Mecânica por Bombas de Recirculação de Lamas**

Este sistema de agitação consiste na recirculação de uma parcela de lamas digeridas aos digestores. Para tal, serão necessários instalar 2+1 grupos electrobomba, para promover a recirculação de lamas para essa finalidade, com uma capacidade tal que permita um *turn-over* de 2 horas. Estes grupos têm uma potência de 37 kW cada. A alimentação das bombas será efectuada pela toma das lamas a partir do fundo dos digestores. Através deste sistema, quando sob a forma de um jacto se introduz uma corrente de uma massa líquida, observa-se um arrastamento da mesma na periferia da superfície que limita o referido jacto líquido. Este arrastamento é essencialmente devido às forças resultantes da viscosidade do líquido e da velocidade do jacto. As forças, que desta forma estão em jogo, criam entre o jacto e a massa líquida uma zona de instabilidade de velocidades que se traduz numa zona de turbulência. Assim, as velocidades ao longo do comprimento do jacto diminuem em função da distância relativamente à saída do injector. A certa distância, a velocidade do jacto será demasiadamente pequena para

provocar arrastamento. Antes que este ponto seja atingido existirá a mistura pretendida, entre a massa líquida circundante e o jacto de lamas proveniente do injector.

Se a massa líquida circundante não é infinita mas sim limitada, por exemplo pelas paredes de um reservatório, a introdução de uma corrente por jacto dará lugar a dois efeitos, a saber: arrastamento e mistura.

Arrastamento: Na primeira parte do seu percurso, as forças de arrastamento são suficientemente importantes para provocar, pouco a pouco e devido à viscosidade, o movimento da massa líquida. Esta massa em movimento vê-se, por seu lado, contrariada pelos efeitos da viscosidade nas paredes do reservatório. Desta forma, e ajustando o débito, velocidade e orientação do jacto aos parâmetros de base (volume e forma dos digestores) consegue-se promover a rotação da massa total de líquido num movimento uniforme, em que as forças de arrastamento e de atrito se anulam.

Mistura: Devido ao efeito da força de atrito com as paredes do reservatório, a velocidade de rotação da massa líquida será inferior à velocidade de saída do injector, existindo uma zona de mistura entre a massa líquida e o injector.

O digestor, munido de um sistema de mistura por jacto, é muito parecido exteriormente com os tanques normalmente utilizados, contudo, as paredes do tanque devem ser o mais lisas possível.

Para assegurar a mistura colocam-se as tubagens de alimentação na periferia do tanque, com orientação num plano horizontal.

Como vantagens deste procedimento de agitação, relativamente a outros, nomeadamente por injeção confinada de biogás, poder-se-á apontar as seguintes:

- As bombas de recirculação estão situadas exteriormente, junto aos digestores. As operações necessárias para a sua manutenção estarão assim facilitadas;
- Devido à rotação da massa líquida é criada uma selecção entre as partículas arrastadas pela corrente e as partículas mais pesadas, facilmente digeríveis, que por gravidade se depositam no fundo. Pouco a pouco, estas partículas são encaminhadas para o centro do digestor onde a menor velocidade linear as impede de sair. É no centro do digestor que tem lugar a extracção das lamas digeridas. As partículas mais leves e difíceis de digerir são misturadas na corrente em movimento e, mais tarde ou mais cedo, são encaminhadas para o fundo do digestor, sendo em seguida bombeadas e reintroduzidas na base do digestor, onde entram em contacto com as partículas em estado de digestão mais avançado. O ciclo continua até que as partículas mais leves, com o decorrer da digestão, se tornem mais pesadas e se juntem às primeiras;
- A turbulência criada no seio da massa líquida, permite igualmente que o biogás proveniente do processo se possa separar mais facilmente das partículas de água, o que se traduzirá numa acrescida capacidade de desidratação das lamas digeridas;
- A presença do jacto de superfície permite intervir muito rapidamente, quando se verifica o começo da formação de crostas, naturalmente inconvenientes durante a exploração. Assim toda a potência da instalação se concentra num volume limitado, criando uma

turbulência importante que afecta toda a superfície e que rompe os blocos que se tendam a formar.

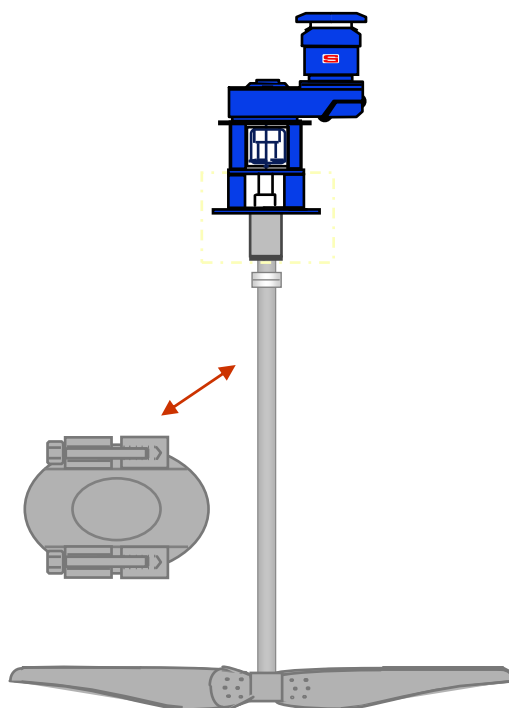
### **3.2.1 – Montagem do Sistema**

A montagem do sistema de agitação por recirculação de lamas consiste na pré-montagem e montagem dos circuitos de tubagens, válvulas e restantes acessórios, bem como das bombas de recirculação. As tarefas são relativamente simples, contudo, devido aos grandes diâmetros das tubagens obriga a cuidados especiais de manuseamento das mesmas, sendo necessária a utilização de equipamentos de movimentação mecânica de cargas de grande porte.

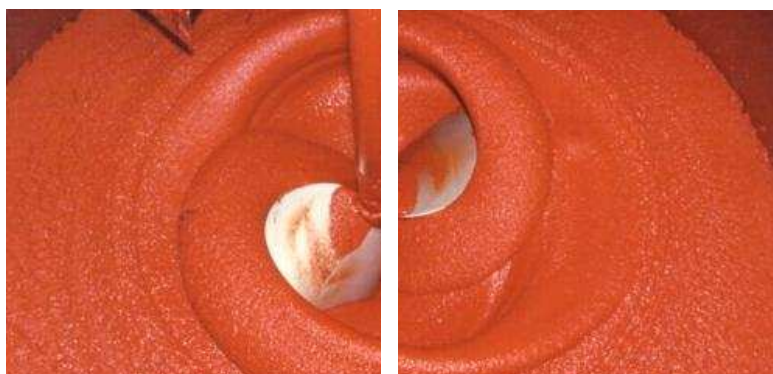
### **3.3 - Agitação Mecânica por Agitadores**

Este sistema de agitação consiste na instalação de um agitador no interior do digestor, que, para o volume de lamas a agitar e características físicas das mesmas (viscosidade e densidade) o agitador seleccionado é o DE 27-3 da ABS – equipado com motor de 4 kW, de construção antideflagrante de acordo com a Directiva ATEX. A potência instalada, para os dois digestores, será de 8 kW.

Este agitador é constituído por duas hélices. A hélice que efectivamente promove a homogeneização (impedindo a sedimentação) do conteúdo do digestor é a inferior, com um diâmetro de 3000 mm. A hélice superior serve para destruir as crostas que se formam à superfície das lamas e a sua cota de instalação no veio é variável, consoante a altura das lamas dentro do digestor, conforme figura 10 e 11.



*Fig 10 – Agitador SCABA 27-3 DE*



*Fig 11 – Rompe crostas (hélice superior)*

A vedação do veio, para impedir a fuga de biogás para o exterior, é feita através de um vedante labiríntico hidráulico, equipado com um detector de nível de água, com saída de sinal de 4 a 20 mA. Este detector dá indicação ao autómato do nível de água dentro do labirinto, permitindo a reposição automática de água através da abertura e fecho de uma electroválvula ligada a uma tubagem de abastecimento de água ao referido labirinto. Desta forma teremos a certeza de que o selo hidráulico promovido por este labirinto é efectivo e constante ao longo do tempo. Este labirinto está esquematicamente representado na figura 12.



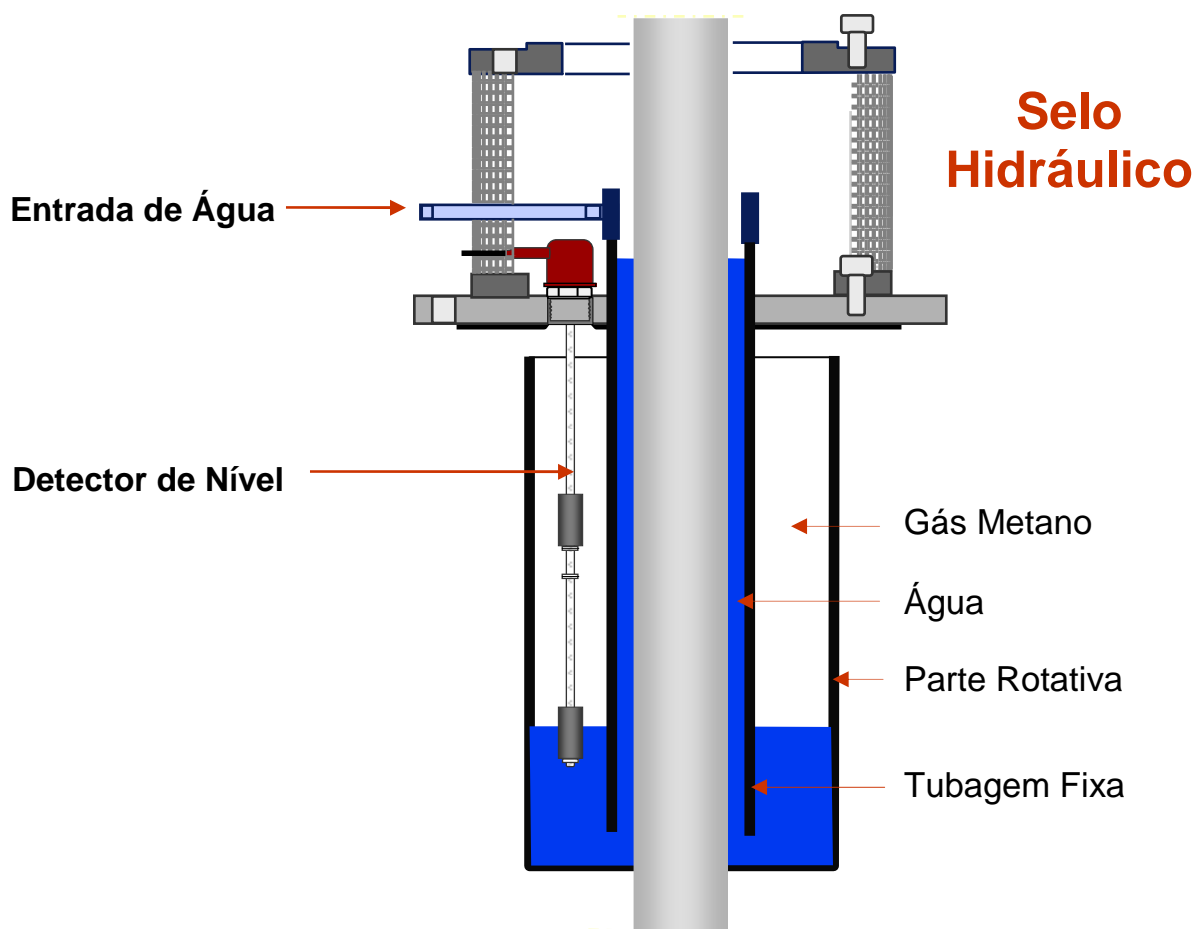


Fig 12 – Labirinto Hidráulico

O motor associado é de 4 pólos, mas a velocidade de rotação do hélice é apenas 17 rpm, existindo uma caixa de redução entre o motor e o veio do hélice. Na figura 13 encontra-se ilustrado o motoredutor associado. Como se pode verificar, pela análise da figura, o motorreductor é instalado no exterior do digestor.



*Fig 13 – Conjunto Motor – Redutor*

As lamas frescas que alimentam os digestores estão ou podem estar, contaminadas com fibras. Estas fibras se se depositarem (agarrarem) nas hélices do agitador podem constituir um problema por afectarem a eficiência da agitação produzida, em consequência da alteração do fluxo estabelecido no tanque. A configuração e desenho dos hélices, conforme figura 14, em princípio, evitam essa deposição, contudo e para que se tenha a certeza de que tal não acontecerá, o fabricante aconselha a que o quadro eléctrico de comando e protecção esteja equipado com um dispositivo que automaticamente permita promover a inversão do sentido de rotação da hélice, de modo a desagregar os referidos materiais fibrosos que eventualmente se tenham agarrado às hélices. Concretamente, é aconselhada a inversão do sentido de rotação 4 a 6 vezes por dia (assumindo-se funcionamento contínuo 24 sobre 24 horas) durante um período de 5 a 10 minutos de cada vez.



*Fig 14 – Configuração do hélice*

### **3.3.1 – Montagem dos agitadores**

A montagem destes agitadores, apesar de aparentemente ser complexa, não o é de facto.

Os hélices e o veio são introduzidos, ainda desmontados, no interior do digestor pela porta de Homem (figura 15) existente no mesmo e à altura de um metro da cota do solo. O hélice do agitador é então montado num dos troços do veio, apoiado numa estrutura previamente construída (andaime) e seguidamente serão montados os restantes troços do veio. Após esta operação, o sistema é levantado, com a ajuda de uma grua até à cobertura do digestor. Na cobertura faz-se o acoplamento do veio ao conjunto motoredutor, conforme figura 16, e dá-se por finalizada a montagem do sistema enchendo, com água, selo hidráulico.





*Fig 15 – Porta de Homem para entrada no Digestor*



*Fig 16 – Montagem do Agitador SCABA*

### 3.4 - Agitação Mecânica por “DRAFT TUBE COM 2 TUBOS Interno”

A agitação com *Draft Tube* é conseguida através da recirculação das lamas que são forçadas a entrar na parte superior ou inferior de um tubo, existente dentro (figura 17) ou fora do digestor (figura 18), e a sair na extremidade oposta. Esta recirculação é conseguida através do accionamento de um agitador existente dentro do referido tubo.

Este sistema prevê a montagem de 2 agitadores, por digestor, na cobertura, sendo a sua remoção, bem como a dos draft tube's associados, facilmente conseguida sem a necessidade de esvaziamento do digestor.

Para o volume de lamas a agitar e características físicas das mesmas (viscosidade e densidade) são necessários dois sistemas distribuídos simetricamente um em relação ao outro. O modelo seleccionado pelo fabricante EIMCO foi o RDTV-15.

O fluxo de lamas pode ser em sentido ascendente ou descendente, de forma alternada e por períodos de tempo a definir.

Cada um dos agitadores está equipado com um motor de construção antideflagrante de 11,1 kW, o que origina uma potência instalada, para os 2 digestores, de 44,4 kW.

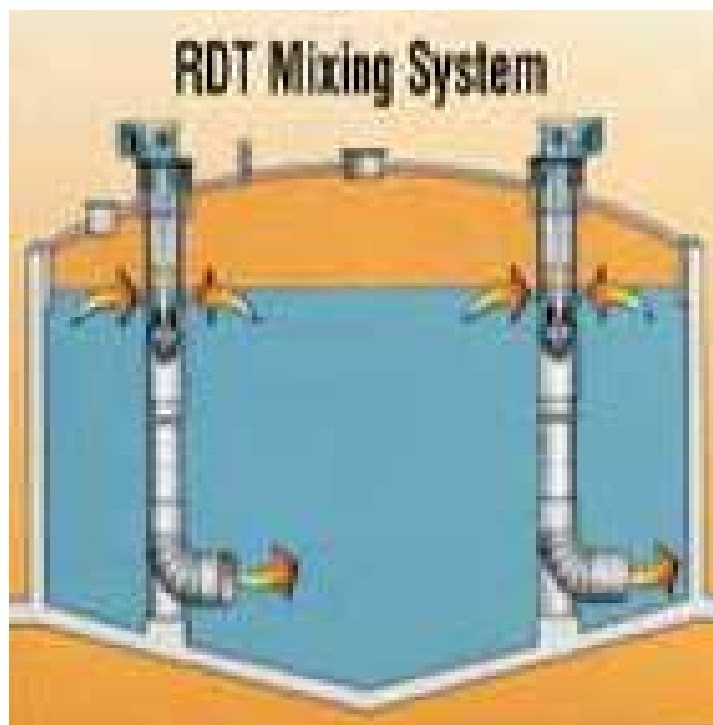


Fig 17 - Agitação por draft tube (Tubos dentro do Digestor)



*Fig 18 - Agitação por draft tube (Tubos fora do Digestor)*

### **3.4.1 – Montagem do sistema**

#### **3.4.1.1 Draft Tube interno**

A montagem deste sistema passa pela introdução de todos os equipamentos dentro do digestor (tubagem, hélices e veio dos agitadores). A pré-montagem (construção) dos tubos terá que ser efectuada dentro do digestor. Esta construção implica a criação de condições de trabalho para espaços confinados, havendo a necessidade de criação de condições especiais de ventilação e de manutenção da temperatura (uma vez que haverá necessidade de proceder à execução de soldaduras).

Após construção da tubagem, o agitador é introduzido dentro desta e com a ajuda de uma grua o sistema será levantado até ao topo do digestor.

Na cobertura faz-se o acoplamento do veio ao conjunto motoredutor, e finaliza-se a montagem com o aperto da flange de ligação entre o motoredutor e a parte que se encontra dentro do digestor.

#### **3.4.1.1 Draft Tube Externo**

A montagem destes deste sistema, passa pela pré-montagem e montagem da tubagem fora do digestor. Após montagem da tubagem, o agitador é introduzido dentro desta e com a ajuda de uma grua o sistema será levantado e fixado nos apoios exteriores existentes para esta finalidade.

No topo da tubagem faz-se o acoplamento do veio ao conjunto motoredutor. Efectua-se o aperto da flange de ligação entre o motoredutor e a parte que se encontra dentro do tubo e sela-se os passa-muros que atravessam a parede do digestor.

### **3.5 - Agitação Mecânica por Agitador Linear**

Com este sistema a agitação é conseguida através de um movimento axial do hidrodisco existente na parte inferior do sistema, este movimento origina uma perturbação nas lamas que rapidamente de expande a todo o volume do digestor.

A marca e modelo analisados foi a EIMCO, modelo LM – 12. Para o volume de lamas a agitar e características físicas das mesmas (viscosidade e densidade) a EIMCO prevê a necessidade de instalação de um agitador linear/vertical em cada digestor.

Cada agitador está equipado com um motor de construção antideflagrante de 5,6 kW, originando uma potência instalada, para os 2 digestores, de 11,2 kW.

Na figura 19 encontra-se ilustrada este tipo de agitador.

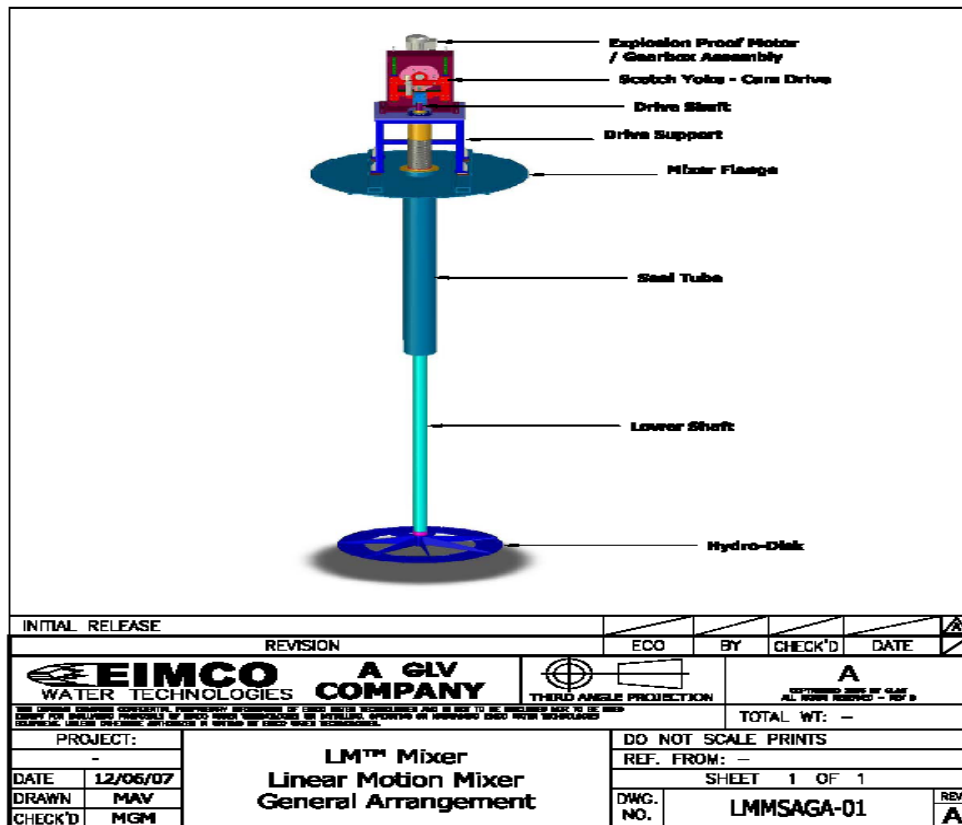


Fig 19 – Agitador Linear

### 3.5.1 – Montagem dos agitadores

A montagem destes agitadores é semelhante à dos agitadores SCABA, descrita no ponto 3.3.1, com a particularidade do sistema poder ser totalmente pré-montado no exterior do digestor, o que facilita a montagem e diminui o risco de acidente associado a montagens em espaços confinados.

Com o auxílio de uma grua e após a pré montagem do êmbolo e do hidrodisco, o sistema é introduzido no interior do digestor pelo orifício existente na cobertura do mesmo, para este fim, conforme ilustrado na figura 20. Na cobertura faz-se o acoplamento do veio ao conjunto motoredutor, e dá-se por finalizada a montagem com o aperto da flange de ligação entre a parte interna e a parte externa do sistema.





*Fig 20 – Montagem do Agitador Linear EIMCO*

### **3.6 – Custos associados a cada uma das soluções**

Após análise da viabilidade técnica de cada uma das alternativas, procedeu-se à análise dos custos associados a cada uma delas, quer no que diz respeito à aquisição do sistema, quer no que diz respeito à sua exploração. Os resultados desta análise encontram-se expressos na tabela III:

Para análise dos custos de exploração associados ao consumo energético, tivemos em conta a potência instalada em cada alternativa, o consumo real para as condições de funcionamento e o nº de horas de funcionamento diário. Esta análise encontra-se expressa na tabela IV.

Tabela III – Análise dos custos associados a cada solução estudada

Custo Associado à Agitação dos Digestores	Custo de Exploração da Solução			
	A	B	C	D
Consumo diário total (kWh/dia)	1.598	173	852	215
Consumo anual total (kWh/ano)	583.416	63.072	311.155	78.490
Custo diário (€/dia)	127,87	13,82	68,20	17,20
Custo mensal (€/mês)	3.889,44	420,48	2.074,37	523,26
Custo anual (€/ano)	46.673,28	5.045,76	24.892,42	6.279,17
<b>Custo de Instalação da Solução</b>				
Custo de Instalação da Solução (€)	250.000,00	300.000,00	480.000,00	420.000,00
Acrescimento custos face à solução mais barata (€)	0,00	50.000,00	230.000,00	170.000,00
Tempo necessário para gastar a energia do sistema mais desfavorável (Anos)	1,00	9,25	1,88	7,43
Tempo necessário para recuperação do acréscimo de custos face à solução mais barata (Anos)	0,00	1,20	10,56	4,21

A - Grupo Electrobomba de Eixo Horizontal (Q= 1700 m<sup>3</sup>/h a 3,5 mca)

B - Agitador ABS

C - Draft Tube EIMCO

D - Agitador Linear EIMCO

*Nota: A solução de agitação por recirculação de biogás não foi analisada por ter sido excluída pelo Cliente*

## INTERPRETAÇÃO DOS DADOS

Verifica-se que a solução mais barata em termos de custos de instalação é a Solução A (Agitação por grupos electrobomba), contudo os custos de exploração desta solução são significativamente superiores aos de qualquer outra solução estudada.

A solução B (por agitador ABS) é a que apresenta a melhor combinação custos de Instalação/Custos de Exploração. Com esta solução, em 14 meses e meio, sensivelmente, ganharíamos, através da poupança associada aos custos de exploração, o montante necessário para pagar o acréscimo de custos associados à instalação, face à solução mais barata, ou seja 50 000,00€.

A solução C é a mais cara de todas quanto à sua aquisição, embora os custos associados à exploração sejam cerca de 50% mais baratos que os da solução A. Necessitaríamos de 10 anos e meio para ganharmos, através da poupança associada aos custos de exploração, o montante necessário para pagar o acréscimo de custos associados à instalação, face à solução mais barata, ou seja 230 000,00€.

Por último, a solução D apesar de não ser a mais cara quanto à sua aquisição aproxima-se bastante desta. Os custos associados à exploração aproximam-se dos da solução B, que é a que tem custos de exploração mais baixos, contudo como a sua aquisição é bastante cara. Necessitaríamos de cerca de 2 anos e meio para ganharmos, através da poupança associada aos custos de exploração,

o montante necessário para pagar o acréscimo de custos associados à instalação, face à solução mais barata, ou seja 170 000,00€.

Tabela IV – Consumo Energético de cada uma das soluções Estudadas

## BALANÇO ENERGÉTICO PARA O ANO HP1- ÉPOCA ALTA

Equipamento	Unid. em Marcha	Unid. em Reserva	Potência Instalada (kW)			Potência Absorvida kW (máq. accionada)		Potência Absorvida à Rede (kW)		Período funcion. diário (horas)	Consumo energético diário (kWh)	Período funcion. anual (dias)	Consumo energético anual (kWh)
			Por Unidade	Total Instalado	Total (Marcha)	Por Unidade	Total (Marcha)	Por Unidade	Total (Marcha)				
<b>A - Agitação dos Digestores</b> Grupo Electrobomba de Eixo Horizontal (Q= 1700 m <sup>3</sup> /h a 3,5 mca)	2	1	37,00	111,00	74,00	29,97	59,94	33,30	66,60	24,0	1598,4	365	583416
<b>B- Agitação dos Digestores</b> Agitador ABS	2	0	4,00	8,00	8,00	2,88	5,76	3,60	7,20	24,0	172,8	365	63072
<b>C - Agitação dos Digestores</b> Draft Tube EIMCO	4	0	11,10	44,40	44,40	7,10	28,42	8,88	35,52	24,0	852,5	365	311155
<b>D - Agitação dos Digestores</b> Agitador Linear EIMCO	2		5,60	11,20	11,20	3,58	7,17	4,48	8,96	24,0	215,0	365	78490

### 3.7 – Vantagens/Desvantagens de cada um dos sistemas de agitação analisados

De forma a seleccionar a melhor alternativa, resumem-se as principais vantagens e desvantagens de cada uma delas, conforme tabela V abaixo.

*Tabela V – Vantagens/Desvantagens de cada um dos sistemas analisados*

<b>Sistema de Agitação</b>	<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
1 – Grupo Electrobomba	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Custo de aquisição do Sistema mais baixo do que qualquer outra solução estudada</li> <li>- Sistema completamente montado no exterior do digestor</li> <li>- Motor sem necessidade de classificação Atex</li> <li>- Sistema com possibilidade de manutenção sem necessidade de aceder ao interior do digestor</li> <li>- Manutenção sem perda de biogás</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Elevado custo associado ao consumo energético</li> <li>- Necessidade de instalação de sistema de tubagem e válvulas para recirculação de lamas</li> <li>- Sistema com alguma complexidade na montagem</li> </ul>
2 – Agitador ABS	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Baixo custo associado ao consumo energético</li> <li>- Sistema fácil de montar</li> <li>- Manutenção do motoredutor sem necessidade de aceder ao interior do digestor</li> <li>- Melhor relação custo de instalação/custo de exploração</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Manutenção das hélices</li> <li>- Necessidade de aceder ao interior do digestor</li> <li>- Perda de Biogás</li> <li>- Necessidade de esvaziar a totalidade das lamas</li> <li>- Trabalhos de manutenção considerados “Trabalhos com riscos especiais – Atmosferas explosivas)</li> <li>- Necessidade de motor Atex</li> </ul>
3 – Draft Tube	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Consumo energético inferior ao sistema por grupo electrobomba</li> <li>- Cliente conhece bem este tipo de sistema da agitação, por já ter instalado sistemas semelhantes no passado.</li> <li>- Manutenção do motoredutor sem necessidade de aceder ao interior do digestor</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Custo de aquisição do sistema mais elevado do que qualquer outra solução estudada (sensivelmente o dobro do custo da solução mais barata)</li> <li>- Sistema com alguma complexidade associada à montagem e que requer cuidados especiais quanto aos riscos laborais</li> <li>- Manutenção no interior do</li> </ul>

		digestor com perda de biogás (no caso de draft tube interno)  - Trabalhos de manutenção considerados “Trabalhos com riscos especiais – Atmosferas explosivas)  - Necessidade de motor Atex
4 – Agitador Linear	- Custo moderado associado ao consumo energético (cerca de 24% superior ao do agitador ABS)  - Sistema fácil de montar  - Manutenção do motoredutor sem necessidade de aceder ao interior do digestor  - Sistema inovador	- Manutenção do Hidrodisco - Perda de Biogás  - Trabalhos de manutenção considerados “Trabalhos com riscos especiais – Atmosferas explosivas)  - Necessidade de motor Atex  - Não haver, ainda, nenhum sistema instalado na Europa

### 3.8 – Sistema de Agitação Seleccionado

Após análise dos custos inerentes à aquisição e à exploração de cada um dos sistemas, bem como das vantagens e desvantagens associados à montagem e manutenção dos mesmos, seleccionou-se o sistema de Agitação por Agitadores ABS como sendo a alternativa a implementar em obra. Esta solução foi apresentada ao Dono de Obra, que a aceitou sem restrições face à solução inicialmente prevista, ou seja, a agitação por bombas de recirculação de lamas no Digestor (Grupos Electrobombas de eixo horizontal).

Para melhor se perceber se o sistema seleccionado cumpre com os requisitos requeridos, solicitamos ao fornecedor indicação de instalações com este sistema de agitação implementado e se possível uma visita a uma dessas instalações, de forma a perceber, junto dos técnicos dessas instalações a satisfação destes em relação ao sistema. A instalação indicada foi a EDAR (Estación Depuradora de Àguas Residuales) de Lorete del Mar (Barcelona).

A visita realizou-se e foi-nos transmitido, por todos o técnicos e a administração da instalação em questão, que a solução de agitação por agitador é a melhor que têm em todas as suas instalações. Possuem também agitação por bombagem e por recirculação de biogás.

Na figura 21 pode visualizar-se o agitador instalado na referida “EDAR”



*Fig 21 – Agitador instalado na EDAR de Lorete del Mar*

## **4 – Conclusão e Investigação Futura**

### **4.1 – Conclusão**

Com a análise efectuada conclui-se que as características construtivas influenciam a capacidade de produção de biogás de um digestor. Conclui-se também que existem no mercado vários equipamentos da mesma ou de marcas diferentes, para a mesma finalidade. As características, modo de funcionamento, tipo de instalação, manutenção, consumos energéticos e equipamentos e instalações associadas diferem de equipamento para equipamento e só uma análise aprofundada permitirá escolher a melhor opção.

A análise efectuada para a agitação dos digestores, nem sempre é possível levar-se a efeito em todos os projectos e/ou para todos os equipamentos, basicamente por falta de tempo e/ou intransigência do cliente (não aceitar alterações ao inicialmente previsto)

Em relação à influência que os vários sistemas de agitação têm na produção de biogás, não nos foi possível chegar a qualquer conclusão, uma vez que não tivemos acesso a dados de instalações a funcionar com as várias alternativas estudadas.

O nosso estudo não esgotou as possibilidades existentes no mercado, contudo permitiu escolher o sistema mais eficiente de todos os estudados, permitindo ganhos significativos para o dono de Obra, para o fornecedor, para a sociedade onde esta obra se insere e para humanidade em geral.



Para o dono de obra, porque lhe permite poupar cerca de 41 000,00€ anuais em energia, ou seja 1 025 000,00€ (preços actuais do kWh) nos 25 anos de funcionamento previstos para esta ETAR

Para o Fornecedor, porque forneceu o equipamento que melhor satisfaz as exigências do Cliente.

Para a Sociedade onde esta obra se insere, porque terão uma instalação que polui menos do que poluiria qualquer outra solução estudada. Como os custos de exploração são menores, poderá a empresa gestora da infraestrutura determinar um menor preço para o tratamento do m3 de efluente a tratar.

Para a Humanidade em geral, pois a energia que deixaremos de gastar contribuirá, embora numa escala muito pequena, para o não aumento da poluição do planeta.

## **4.2 – Investigação Futura**

Embora todos os fornecedores dos equipamentos analisados garantam a performance do equipamento que se propõem fornecer, com este estudo não conseguimos concluir qual dos equipamentos será efectivamente mais eficiente, uma vez que não dispomos de dados para tal análise.

A investigação futura que proponho será:

- Fazer um levantamento de instalações com os vários sistemas analisados.
- Analisar a qualidade do afluente à chegada aos digestores e, para aqueles que apresentarem qualidade semelhante:
  - Analisar o grau de agitação conseguido com cada dos sistemas.
  - Verificar se os consumos coincidem com os indicados pelos fabricantes
  - Verificar se o biogás produzido está de acordo com as quantidades teóricas previstas.
  - Concluir qual dos sistemas é, efectivamente, mais eficiente.

## 5- Referências

- Alves, 2000
- Andrews (1969)
- Decreto-Lei n.º 152/2002 de 23 de Maio
- Digestão Anaeróbia – Metodologia de Desenvolvimento, dds Norte
- Directiva ATEX
- Directiva 2004/8/CE de 11 de Fevereiro
- Gaspar, 2003
- Metcalf e Eddy (2003), Wastewater Engineering, Treatment and Reuse, fourth Edition, McGraw-Hill, New York, USA
- Meynell (1976)
- Nogueira, 1986
- Operation of municipal wastewater treatment plants , MOP 11, 6TH edition, WEF press, Alexandria, USA
- Sawyer and Grumbling (1960)
- Van Haandel e Lettinga, 1994
- [www.comitepcj.sp.gov.br/download/Curso-Trat-Esgoto\\_Capitulo-5.pdf](http://www.comitepcj.sp.gov.br/download/Curso-Trat-Esgoto_Capitulo-5.pdf)
- [www.renovaveis.tecnopt.com/cogeracao/](http://www.renovaveis.tecnopt.com/cogeracao/)
- Zehnder (1978)